

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penyusun melakukan telaah terhadap beberapa referensi yang ada, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang penyusun lakukan.

Referensi diambil dari Jurnal oleh Binka Aji Wibowo yang berjudul “Pemanfaatan PMT Kopel Sebagai Sarana Pengalihan Beban Di Gardu Induk Sayung Kabupaten Demak”.^[1]

Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penyusun dengan referensi diatas adalah penyusun mencoba untuk membuat sebuah simulasi alat peraga untuk membuktikan proses pelimpahan beban ketika akan dilakukan pekerjaan trafo dengan memanfaatkan PMT kopel dan juga nantinya akan dibandingkan dengan melalui manuver melalui jaringan. Diharapkan dengan adanya pengoptimalan PMT sebagai sarana pengalihan beban ini bisa menjadikan keandalan sistem tenaga listrik menjadi semakin baik.

Referensi lainnya juga diambil dari Tugas Akhir oleh Garby Ratu Yunica dengan judul “Simulasi Penambahan Penyulang Srl 09 Pada Rayon Semarang Selatan Guna Mengurangi Susut Daya Dan Drop Tegangan Pada Penyulang Kls 08”^[2]. Yang membedakan dengan tugas akhir yang akan penyusun buat yaitu pada penanggulangan untuk mengurangi drop tegangan tersebut. Pada referensi tersebut

cara mengurangi drop tegangan dengan cara menambah penyulang baru, sedangkan pada tugas akhir yang penyusun buat akan menggunakan PMT Kopel untuk mengurangi *drop* tegangan di jaringan distribusi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat-pusat listrik yang diinterkoneksi satu dengan lainnya, melalui transmisi atau distribusi untuk memasok ke beban atau dari satu pusat listrik.^[3]

Proses penyaluran tenaga listrik melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi / Saluran Udara Tegangan Tinggi) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (Saluran Udara Tegangan Menengah), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan sekunder (Saluran Udara Tegangan Rendah), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen melalui jaringan tegangan rendah, sedangkan saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (sistem distribusi).

2.2.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan sisi beban/konsumen. Di mana sistem distribusi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat supply yang dalam hal ini dapat

berupa gardu induk atau pusat pembangkit ke pusat-pusat/kelompok beban (gardu distribusi) dan pelanggan melalui jaringan primer dan jaringan sekunder.

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah semua bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar dengan rangkaian pelayanan pada konsumen. Sumber daya besar adalah pusat-pusat pembangkit listrik dengan kapasitas daya yang dihasilkan dalam satuan Mega Watt (MW).

Pembangkit listrik ini digolongkan atas jenis-jenis tenaga yang digunakan, seperti pembangkit yang menggunakan tenaga air, bahan minyak bumi/batu bara, panas surya, tenaga angin dan lain-lain. ^[4]

Fungsi utama dari sistem distribusi adalah untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya ke pemakai atau konsumen. Baik buruknya suatu sistem distribusi dinilai dari bermacam-macam faktor, diantaranya menyangkut hal-hal sebagai berikut :

1. Kontinuitas pelayanan

Yaitu meminimalkan jumlah dan lama padam daerah konsumen yang terjadi akibat adanya gangguan ataupun sedang terjadi pemeliharaan.

2. Regulasi tegangan

Pengaturan tegangan baik dari Gardu Induk, saluran transmisi ataupun pada pembangkit sangat penting agar kontinuitas tenaga listrik tetap terjaga.

3. Harga Sistem

Dalam pembangunan jaringan distribusi perlu diperhatikan kualitas komponen-komponen yang digunakan.

Dari keempat hal diatas, masalah-masalah yang dihadapi dalam suatu sistem jaringan distribusi adalah bagaimana menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Sistem distribusi dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Sistem Distribusi Primer

Saluran Distribusi Primer atau biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation yang berada di Gardu Induk (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini memiliki tegangan kerja menengah 20kV. Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari GI distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan kabel udara maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.^[4]

2. Sistem Distribusi Sekunder

Saluran Distribusi sekunder atau biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Saluran ini memiliki tegangan kerja 380/220 Volt. Pada sistem distribusi sekunder, bentuk saluran yang paling banyak digunakan adalah bentuk radial. Sistem tegangan rendah ini langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik.^[4]

2.2.3 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi distribusi listrik. Dimana suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk :

1. Mengubah tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau tegangan menengah.
2. Pengukuran, pengawasan, operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke Gardu-Gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan Gardu-Gardu Distribusi melalui gawai tegangan menengah.^[5]

2.2.3.1 Gardu Induk Distribusi

Gardu Induk Distribusi adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari saluran distribusi primer yang menyalurkan tenaga listrik ke pemakai dengan tegangan rendah.^[5]

Gardu Induk Distribusi merupakan instalasi sistem penyaluran tenaga listrik dengan tegangan menengah (20.000 Volt) ke pusat - pusat beban. Di dalamnya terdapat kubikel / panel bagi yaitu Incoming, Outgoing, Kopel, Pengukuran dan Trafo Pemakaian Sendiri. Kubikel *Incoming* disuplai dari output Trafo Tenaga (sisi Sekunder) yang berfungsi mentransformasikan tegangan tinggi menjadi tegangan menengah. Kubikel *Incoming* merupakan Induk dari Outgoing. Kubikel Kopel berfungsi untuk memaralel / menghubungkan dua sumber atau trafo yang berbeda.

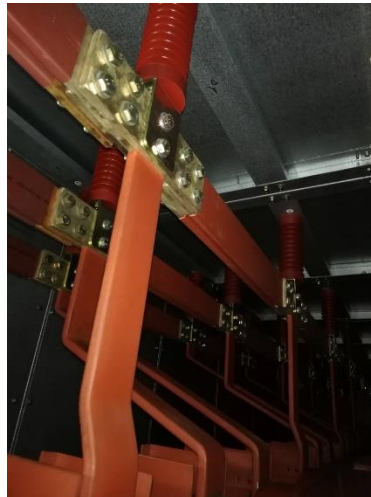
Kubikel *Outgoing* yang berfungsi menghubungkan dan memutus sumber ke gardu distribusi / pelanggan. Kubikel pengukuran berfungsi untuk mengukur energi listrik yang berisi peralatan ukur serta suplai trafo tegangan (VT). Kubikel Trafo Pemakaian Sendiri (PS) biasanya menggunakan LBS / *Load Breaker Swicth* yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus sumber Trafo PS.

2.2.4 Kubikel 20 KV

Kubikel 20 kv adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada gardu distribusi yang berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung pengontrol dan proteksi sistem penyaluran tenaga listrik tegangan 20 kv, kubikel 20 kv biasa terpasang pada gardu distribusi atau gardu hubung yang berupa beton maupun kios. Di dalam kubikel terdapat bagian-bagian yang saling berhubungan dan interlock. Ada 4 pembagian ruangan didalam kubikel yang biasa disebut dengan kompartemen. Bagian – bagian tersebut adalah kompartemen busbar, kompartemen *Low Voltage*, Kompartemen kabel power, dan Kompartemen PMT. ^[1]

2.2.4.1 Kompartemen Busbar

Berfungsi sebagai tempat kedudukan busbar/rell. Dilengkapi dengan isolator penyangga yang berfungsi untuk menyangga kedudukan rell agar kuat.



Gambar 2.1 Kompartemen Busbar

2.2.4.2 Kompartemen *Low Voltage*

Berfungsi sebagai pusat terminal kontrol, sumber DC dan peralatan pendukung seperti Amperemeter, Relai Proteksi, KWhmeter, tombol *close/open* dan juga pusat *wiring control*.



Gambar 2.2 Kompartemen *Low Voltage*

2.2.4.3 Kompartemen Kabel Power

Kompartemen ini terdapat :

- a. Terminasi kabel tegangan menengah
- b. Tiga pembagi tegangan (*potensial divider*), dilengkapi pada setiap pasa terminasi kabel, yang disambung dengan tiga neon indikator yang dipasang

di muka panel. Fungsinya untuk melihat secara visual bahwa kabel tersebut dalam keadaan bertegangan atau tidak, sehingga aman terhadap petugas yang melaksanakan pengoperasian.

- c. Satu rangkaian hubung pendek dan pemisah tanah untuk sisi kabel. Dioperasikan dari depan panel, dilengkapi dengan mekanisme operasi kecepatan tinggi sehingga mempunyai kecepatan masuk yang tidak tergantung kecepatan operator.
- d. Trafo arus
- e. Trafo tegangan



Gambar 2.3 Kompartemen Kabel Power

2.2.4.4 Kompartemen PMT

Pada kompartemen ini terpasang PMT dan mekanisme penggeraknya dapat dengan mudah dikeluarkan/dimasukkan ke dalam kubikel untuk keperluan pemeliharaan.



Gambar 2.4 PMT

2.2.5 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.



Gambar 2.5 PMT Tampak Samping

2.2.6 Load Break Switch

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi. Panel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara *interlock* dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (*remote control*), *Remote Terminal Unit* (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak. [3]

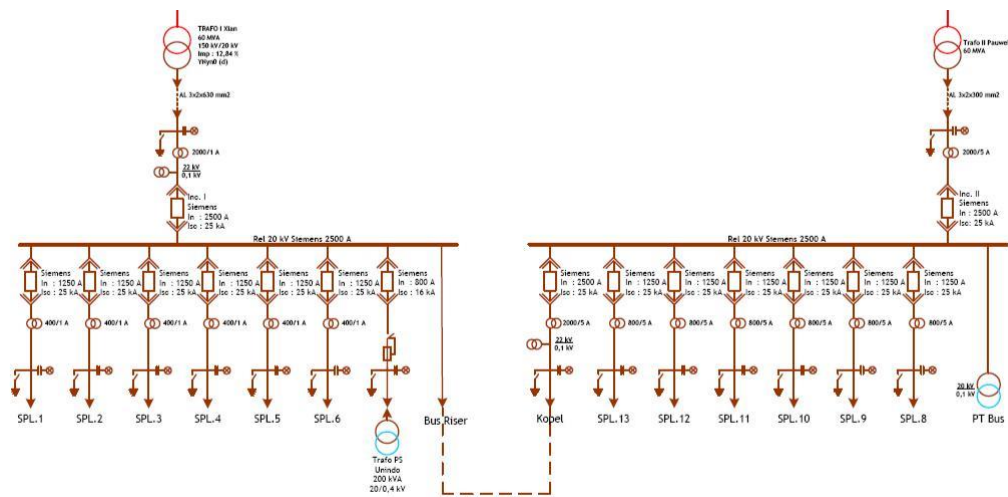


Gambar 2.6 Load Break Switch

2.2.7 Sistem Kopel

Sistem Kopel 20 kV diperlukan untuk *back up* maupun menghemat waktu terkait pelimpahan beban trafo pada suatu Gardu Induk yang terdapat 2 unit atau lebih trafo daya pada saat dilaksanakan pemeliharaan yang tidak memerlukan padam kubikel *outgoing* maupun saat terjadi gangguan pada salah satu trafo. [6]

Desain sistem kopel 20 kV di Jaringan Distribusi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7 Sistem Kopel ^[7]

Penggunaan kubikel Kopel ini berfungsi untuk menghubungkan antar kubikel yang berada pada trafo (sel) yang berbeda. Selain fungsi tersebut penggunaan PMT kopel ini juga bertujuan untuk *manuver*, yang dimaksudkan disini adalah ketika *feeder* pada salah satu trafo mengalami gangguan atau sedang dilakukan pemeliharaan sehingga diperlukan *manuver* (pelimpahan beban) pada satu *feeder* yang mengalami gangguan, maka pelimpahan beban akan diarahkan atau dilimpahkan melalui *dispatcher* dengan mempertimbangkan *feeder* yang masih mampu melayani beban.^[7]

2.2.8 Drop Tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. *Drop* tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya *drop* tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. PT PLN (Persero) mengatur standar *drop*

tegangan dalam SPLN No.72 Tahun 1987 yaitu turun tegangan yang diperbolehkan pada JTM dan JTR adalah 5 % dari tegangan kerja untuk sistem radial diatas tanah. Perhitungan *drop* tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.^[2]

Apabila penurunan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran distribusi, persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Besarnya *drop* tegangan pada saluran distribusi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving end) tenaga listrik. Tegangan jatuh *relative* dinamakan regulasi tegangan VR (*voltage regulation*) atau *drop* tegangan^[3]

Besar hambatan suatu kawat penghantar sebanding dengan panjang kawat penghantar. artinya makin panjang penghantar, makin besar hambatannya. Dan Bergantung pada jenis bahan kawat (sebanding dengan hambatan jenis kawat), dan kemudian berbanding terbalik dengan luas penampang kawat, artinya makin kecil luas penampang, makin besar hambatannya.

Nilai hambatan suatu penghantar tidak bergantung pada beda potensialnya. Beda potensial hanya dapat mengubah kuat arus yang melalui penghantar itu. Jika penghantar yang dilalui sangat panjang, kuat arusnya akan berkurang. Hal itu terjadi karena diperlukan energi yang sangat besar untuk mengalirkan arus listrik pada penghantar panjang. Keadaan seperti itu dikatakan tegangan listrik turun. Makin panjang penghantar, makin besar pula penurunan tegangan listrik.^[2]

2.2.9 Manuver Jaringan

Manuver jaringan atau manipulasi jaringan merupakan serangkaian kegiatan pelimpahan tenaga listrik dengan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan pemeliharaan jaringan akibat adanya gangguan atau adanya pekerjaan jaringan sedemikian rupa sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran yang maksimum atau dengan kata lain yang lebih sederhana adalah mengurangi daerah pemadaman.^[8]

Manuver jaringan adalah pekerjaan pengalihan/pelimpahan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara.

Kegiatan yang dilakukan saat manuver :

1. Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.
2. Memisahkan jaringan menjadi bagian-bagian jaringan yang semula terhubung menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.

Pelimpahan beban juga dapat diartikan sebagai kegiatan atau pekerjaan pengalihan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang

bersifat sementara dengan menutup (memasukkan) atau membuka (melepas) peralatan – peralatan penghubung / switching seperti ABSW, LBS, dan PMT.^[8]

2.2.9.1 Tujuan Pelaksanaan Pelimpahan Beban

Manuver jaringan distribusi dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mempercepat penormalan jaringan.
2. Mempersempit daerah padam atau menimalisir pelanggan padam.
3. Pengaturan distribusi beban jaringan.
4. Pertimbangan keandalan jaringan.

Pelaksanaan pelimpahan beban jaringan distribusi biasanya dilakukan dalam rangka pemeliharaan jaringan, adanya gangguan, dan guna keandalan suatu wilayah atau tempat. Petugas yang memberikan perintah pelimpahan beban jaringan distribusi 20 KV yaitu:

1. *Dispatchcer* APD
2. *Dispatcher* Area
3. *Dispatcher* Unit / Rayon
4. Pengawas Lapangan
5. Petugas pelaksana / Petugas gangguan

2.2.9.2 Syarat Pelimpahan Beban Penyulang Jaringan Distribusi

Syarat-syarat yang harus dipenuhi saat melakukan manuver jaringan distribusi:

1. Tegangan dan frekuensi antara kedua penyulang yang akan dimanuver dalam keadaan sama ataupun maksimal beda tegangan 0,5 KV.

2. Apabila kedua penyulang berasal dari transformator yang berbeda daya nya maka harus dimintakan persamaan tegangan terlebih dahulu ke pihak APD atau Area atas permintaan Rayon.
3. Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
4. Urutan ketiga phasa antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama.
5. Penampang konduktor kedua penyulang harus sama ukurannya.
6. Peralatan manuver / *switching* harus dalam keadaan baik untuk beroperasi.

Adapun beberapa syarat yang harus dipenuhi agar dua buah penyulang akan melakukan join:

1. Tegangan dan frekuensi antara kedua penyulang sama dan untuk maksimal beda tegangan ialah 0,5 kV
2. Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan
3. Urutan ketiga phasa antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama.

Apabila antara dua penyulang tersebut tidak dapat langsung join, maka akan ada pemadaman sesaat untuk proses pelimpahan beban. Namun ketika antar penyulang langsung dapat join, maka tidak ada pemadaman sesaat.^[9]

2.2.10 PMT Kopel Sebagai Media Pengalihan Beban

Ada beberapa kriteria yang perlu diketahui untuk pengalihan beban trafo antara lain ratio tegangan transformator, persen impedansi transformator, rating KVA transformator, urutan fasa.^[3]

a. Ratio Tegangan Transformator

Salah satu kriteria yang harus diketahui yaitu ratio tegangan dari kedua transformator. Dimana ratio tegangan didapat dari perbandingan antara jumlah kumparan primer dan sekunder. Sehingga dalam pengoperasiannya besar tegangan sekunder dapat diatur dengan mengubah jumlah belitan melalui *tap changer*.

b. Persen Impedansi Transformator

Apabila transformator memiliki persen impedansi yang serupa maka beban akan terbagi sesuai dengan rating KVA trafo tersebut. Sedangkan bila nilai reaktansi dan resistansi berbeda maka akan menyebabkan trafo-trafo tersebut terjadi pembebanan yang tidak merata.

c. Rating KVA Transformator

Apabila dua buah transformator yang memiliki rating kVA yang sama dihubungkan secara paralel maka akan menyebabkan beban akan terbagi sama rata, dengan catatan impedansi dan ratio tegangan memiliki nilai yang sama. Sehingga apabila melakukan kopel busbar maka akan menyebabkan jumlah seluruh beban pada kedua transformator akan dibagi merata. Sehingga dapat di perhitungkan beban berdasarkan pembacaan meter sebelumnya. Namun apabila rating kVA dari dua buah transformator

yang hendak di kopel memiliki perbedaan rating kVA maka pada prakteknya beban akan terbagi sesuai dengan rating kVA nya.

d. Urutan Fasa

Urutan fasa dari kedua buah transformator yang hendak dikopel harus identik. Hal ini dapat dilakukan dengan menghubungkan fasa R, S, dan T pada hubungan yang tepat. Apabila urutan fasa tidak tepat maka setiap putaran akan menyebabkan hubung singkat.

2.2.11 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan *mikrokontroller* yang berbasis Arduino dengan menggunakan *chip* ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah *mikrokontroller*. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.^[10]



Gambar 2.8 Arduino Mega 2560.^[10]

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560

<i>Chip mikrokontroller</i>	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output
Analog Input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori <i>Flash</i>	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock speed</i>	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin terbanyak dari semua papan pengembangan Arduino. Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan pull-up sekitar 20-50k ohm (secara default dalam posisi disconnect). Nilai

maximum adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan chip mikrokontroler.

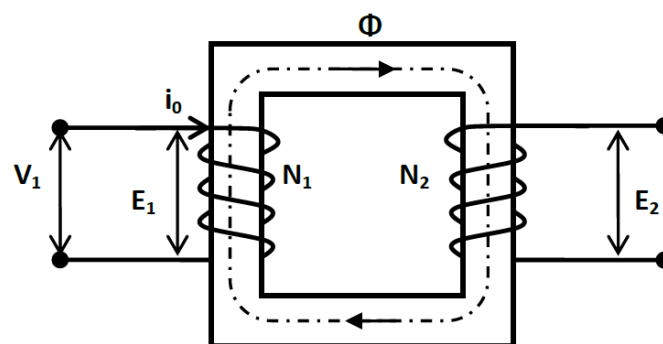
Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- **Serial**, memiliki 4 serial yang masing-masing terdiri dari 2 pin. Serial 0 : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Serial 1 : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). Serial 2 : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). Serial 3 : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk transmit data serial TTL. Pin 0 dan pin 1 adalah pin yang digunakan oleh chip USB-to-TTL ATmega16U2
- **External Interrupts**, yaitu pin 2 (untuk interrupt 0), pin 3 (interrupt 1), pin 18 (interrupt 5), pin 19 (interrupt 4), pin 20 (interrupt 3), dan pin 21 (interrupt 2). Dengan demikian Arduino Mega 2560 memiliki jumlah interrupt yang cukup melimpah : 6 buah. Gunakan fungsi `attachInterrupt()` untuk mengatur interrupt tersebut.
- **PWM**: Pin 2 hingga 13 dan 44 hingga 46, yang menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`
- **SPI** : Pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), dan 53 (SS) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI Library
- **LED** : Pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin no 13. Set HIGH untuk menyalakan led, LOW untuk memadamkan nya.
- **TWI** : Pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*

2.2.12 *Transformer*

Transformer adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. *Transformer* digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika.^[2]

Penggunaan *transformator* dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika, *transformator* digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkain dari rangkaian yang lain, dan untuk menghambat arus searah atau mengalirkan arus bolak-balik. Pada Gambar 2-9 terlihat bahwa transformator terdiri dari dua buah kumparan (lilitan kawat) yang tergulung pada besi berlapis yang dinamakan dengan lilitan primer dan lilitan sekunder.



Gambar 2.9. *Transformer*

Keterangan :

E_1 = Gaya gerak listrik di sisi primer (Volt)

E_2 = Gaya gerak listrik di sisi sekunder (Volt)

V_1 = Tegangan di sisi primer (Volt)

V_2 = Tegangan di sisi sekunder (Volt)

N_1 = Jumlah lilitan sisi primer

N_2 = Jumlah lilitan sisi sekunder

Jika kumparan primer transformator dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik, transformator akan mengalirkan arus pada kumparan primer dan menghasilkan fluks magnet yang berubah-ubah sesuai frekuensi yang masuk ke transformator. Fluks magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi ke kumparan sekunder seperti yang terlihat pada Gambar 2-9. Sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul GGL induksi.

Kumparan primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC). Tegangan primer V_1 akan mengalirkan arus primer I_o yang berbentuk sinusoide. Dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, maka I_o akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_o yang mengalir pada belitan N_1 akan menimbulkan fluks magnet (Φ). Fluks ini mempunyai sudut fasa yang sama terhadap arus primer. Besarnya fluks dapat dicari melalui persamaan sebagai berikut:

$$\Phi = \Phi_{maks} \sin \omega t \quad (2.1)$$

Fluks yang berbentuk sinusoida ini akan menghasilkan tegangan induksi E_1

$$E_1 = - N_1 \cdot d \Phi / dt \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned}
 E_1 &= -N_1 \cdot d(\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t)/dt \\
 &= -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)
 \end{aligned}$$

Besarnya tegangan induksi efektifnya adalah :

$$\begin{aligned}
 E_1 &= N_1 \cdot 2\pi f \Phi_{\text{maks}} / \sqrt{2} \\
 &= 4.44 n_1 \cdot f \Phi_{\text{maks}}
 \end{aligned}$$

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) bersama tadi akan menimbulkan :

$$\begin{aligned}
 E_2 &= -N_2 \cdot d\Phi / dt & (2.3) \\
 E_2 &= -N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \\
 E_2 &= 4.44 N_2 \cdot f \Phi_{\text{maks}} \\
 E_1/E_2 &= N_1/N_2
 \end{aligned}$$

Dengan mengabaikan rugi daya dan adanya fluks bocor, maka :

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_2 \\
 V_1 \cdot I_1 &= V_2 \cdot I_2 \\
 V_1/V_2 &= I_2/I_1
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$E_1/E_2 = V_1/V_2 = N_1/N_2 = a \quad (2.4)$$

$$I_2/I_1 = V_1/V_2 = N_1/N_2 = a \quad (2.5)$$

Keterangan :

I_1 = Arus di sisi primer (Ampere)

I_2 = Arus di sisi sekunder (Ampere)

a = Perbandingan transformasi

Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai besaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 . Pada trafo juga terdapat persamaan untuk efisiensi, yaitu :

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \cdot 100\% \quad (2.6)$$

dimana,

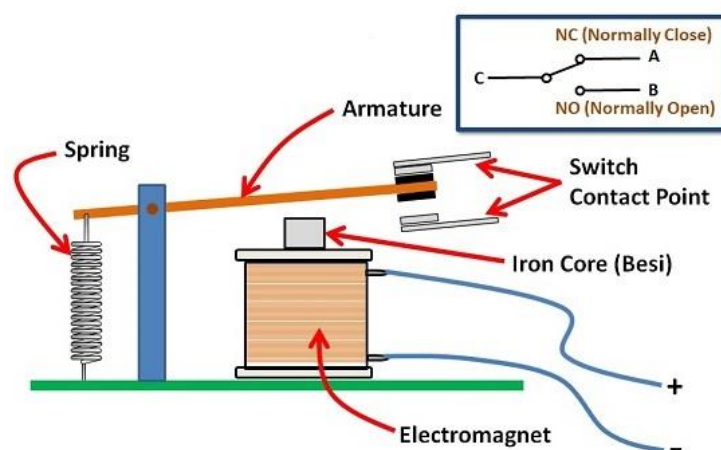
$$\eta = \text{Efisiensi (\%)}$$

$$P_{out} = \text{Daya keluaran (Watt)}$$

$$P_{in} = \text{Daya masukan (Watt)}$$

2.2.13 Relai

Relai adalah komponen elektronika yang berupa saklar atau *switch* elektrik yang dioperasikan menggunakan listrik. Relai juga biasa disebut sebagai komponen *electromechanical* atau elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama yaitu coil atau elektromagnet dan kontak saklar atau mekanikal.^[11]



Gambar 2.10 Bagian-bagian relai^[2]

Kontak Poin (*Contact Point*) Relai terdiri dari 2 jenis yaitu :

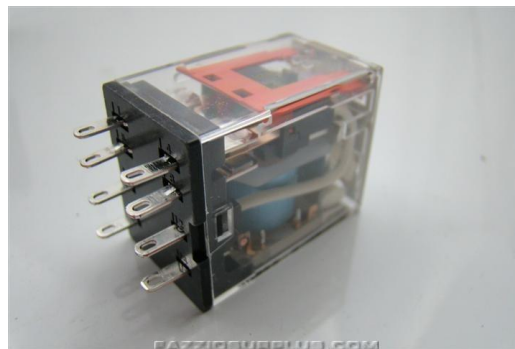
- *Normally Close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *CLOSE* (tertutup)
- *Normally Open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *OPEN* (terbuka)

Berdasarkan gambar diatas, sebuah besi (*Iron Core*) dililit oleh sebuah kumparan/*coil* yang berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik armature untuk berpindah dari Posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana Armature tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi *OPEN* atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, Armature akan kembali lagi ke posisi Awal (NC). *Coil* yang digunakan oleh Relai untuk menarik *Contact Point* ke posisi *Close* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.

Komponen relai menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil atau low power, dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi.

Seperti yang telah dikatakan tadi bahwa relai memiliki fungsi sebagai saklar elektrik. Namun jika diaplikasikan ke dalam rangkaian elektronika, relai memiliki beberapa fungsi yang cukup unik. Berikut adalah beberapa fungsi komponen relai saat diaplikasikan ke dalam sebuah rangkaian elektronika.

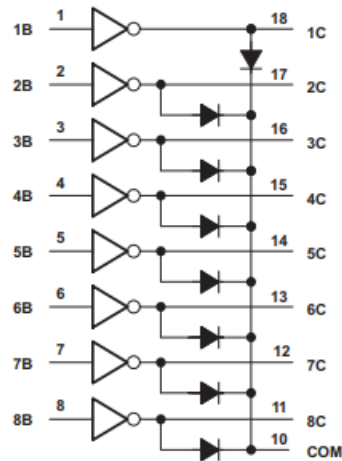
1. Mengendalikan sirkuit tegangan tinggi dengan menggunakan bantuan sinyal tegangan rendah
2. Menjalankan fungsi logika alias *logic function*
3. Memberikan fungsi penundaan waktu alias *time delay function*
4. Melindungi motor atau komponen lainnya dari kelebihan tegangan atau korsleting



Gambar 2.11 Relai 8 Kaki^[2]

2.2.14 Driver Relay

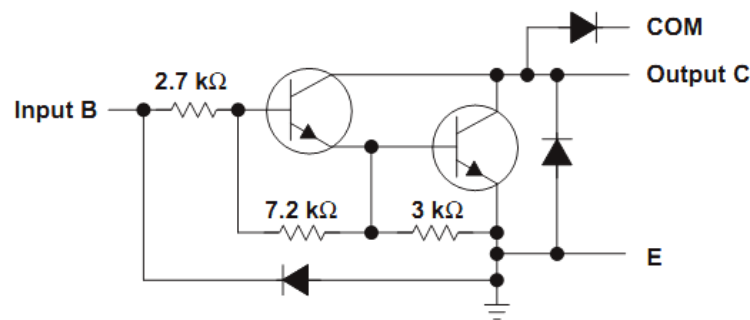
Driver relay adalah rangkaian elektronika yang biasanya digunakan untuk mengendalikan serta pengoperasian sesuatu dari jarak jauh atau semacam *remote*. Rangkaian ini bisa mempermudah dan juga memperlancar pekerjaan yang memang kadang membutuhkan rangkaian dari *relay* ini.



Gambar 2.12 Rangkaian *Driver Relay*^[12]

Gambar 2.12 merupakan gambar rangkaian *driver relay* dimana rangkaian tersebut merupakan rangkaian *switching* transistor yang digerakkan oleh tegangan *step* yang berasal dari *power supply*. Jika tegangan input (dari mikrokontroler) nol, transistor tersumbat (*cutoff*). Dalam hal ini, transistor kelihatannya seperti sebuah *switch* yang terbuka. Dengan tidak adanya arus yang melalui tahanan kolektor, maka tegangan output sama dengan +12 V. ULN2803 merupakan transistor Darlington Array bertegangan tinggi dan arus tinggi. Peringkat arus kolektor masing-masing pasangan Darlington adalah 500 mA. Pasangan Darlington dapat dihubungkan secara seri untuk kemampuan arus yang lebih tinggi. ULN2803 terdiri dari delapan pasang transistor NPN Darlington arus tinggi. ULN 2803 memiliki resistor dasar seri (2.7-k Ω) untuk masing-masing pasangan Darlington, sehingga memungkinkan operasi secara langsung dengan TTL atau CMOS yang beroperasi pada voltage suplai 5V atau 3,3V. Pemasangan secara darlington yaitu untuk menciptakan efek dari satu transistor dengan gain arus sangat tinggi. β yang sangat tinggi memungkinkan arus keluaran arus tinggi dengan

arus masukan sangat rendah, yang pada dasarnya sama dengan operasi dengan voltage GPIO rendah.



Gambar 2.13 Rangkaian Transistor Darlington ^[12]

Dari gambar diatas, tegangan GPIO dari Arduino diubah menjadi arus basis melalui resistor $2.7\text{-k}\Omega$ yang dihubungkan antara input dan basis predriver Darlington NPN. Dioda yang terhubung antara output dan pin COM digunakan untuk menekan tegangan *kick-back* dari beban induktif yang sangat antusias saat driver NPN dimatikan (*stop sinking*) dan energi yang tersimpan dalam gulungan menyebabkan arus balik mengalir ke pasokan kumparan melalui dioda *kick-back*. Dalam operasi normal, dioda pada pin base dan kolektor ke emitor akan bias balik. Jika dioda ini bias maju, transistor NPN parasit internal akan menarik arus yang hampir sama dari pin perangkat lain di dekatnya.

2.2.15 Dioda

Dioda adalah jenis komponen pasif. Dioda memiliki dua kaki/kutub yaitu kaki anoda dan kaki katoda. Dioda terbuat dari bahan semi konduktor tipe P dan semi konduktor tipe N yang di sambungkan. Semi konduktor tipe P berfungsi sebagai Anoda dan semi konduktor tipe N berfungsi sebagai katoda. Pada daerah sambungan 2 jenis semi konduktor yang berlawanan ini akan muncul daerah deplesi

yang akan membentuk gaya barrier. Gaya barrier ini dapat ditembus dengan tegangan + sebesar 0.7 volt yang dinamakan sebagai *break down voltage*, yaitu tegangan minimum dimana dioda akan bersifat sebagai konduktor/penghantar arus listrik.^[2]

Prinsip kerja diode pada umumnya adalah sebagai alat yang terbentuk dari beberapa bahan semikonduktor dengan muatan Anode (P) dan muatan Katode (N) yang biasanya terdiri dari germanium atau silikon yang digabungkan, dan muatan yang bertipe N merupakan bahan dengan kelebihan elektron, dan sebaliknya muatan bertipe P merupakan bahan dengan kekurangan elektron yang dipisahkan oleh depletion layer yang terjadi akibat keseimbangan kedua muatan tersebut, oleh karena itu dioda tersebut menghasilkan suatu hole yang berfungsi sebagai pembawa tegangan atau muatan sehingga terjadi perpindahan sekaligus pengaliran arus yang terjadi di hole tersebut.



Gambar 2.14 Dioda^[14]

Dioda bersifat menghantarkan arus listrik hanya pada satu arah saja, yaitu jika kutub anoda kita hubungkan pada tegangan + dan kutub katoda kita hubungkan dengan tegangan – (kita beri bias maju dengan tegangan yang lebih besar dari 0.7 volt) maka akan mengalir arus listrik dari anoda ke katoda (bersifat konduktor). Jika polaritasnya kita balik (kita beri bias mundur) maka arus yang mengalir hampir nol atau dioda akan bersifat sebagai isolator.

2.2.16 Resistor

Resistor adalah komponen elektronika yang memang didesain memiliki dua kutub yang nantinya dapat digunakan untuk menahan arus listrik apabila di aliri tegangan listrik antara kedua kutub tersebut. Tak cuma itu, komponen yang satu ini juga yang paling sering digunakan di antara komponen lainnya. Resistor adalah komponen yang terbuat dari bahan isolator yang didalamnya mengandung nilai tertentu sesuai dengan nilai hambatan yang diinginkan.^[2]

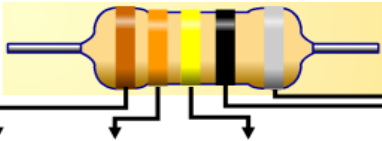
Bentuk dari resistor sendiri saat ini ada bermacam-macam. Yang paling umum dan sering di temukan di pasaran adalah berbentuk bulat panjang dan terdapat beberapa lingkaran warna pada body resistor. Ada 4 lingkaran yang ada pada body resistor. Lingkaran warna tersebut berfungsi untuk menunjukkan nilai hambatan dari resistor.



Gambar 2.15 Resistor^[2]

Karakteristik utama resistor adalah resistansinya dan daya listrik yang dapat dihantarkan. Sementara itu, karakteristik lainnya adalah koefisien suhu, derau listrik (noise) dan induktansi. Resistor juga dapat kita integrasikan kedalam sirkuit hibrida dan papan sirkuit, bahkan bisa juga menggunakan sirkuit terpadu. Ukuran dan letak kaki resistor tergantung pada desain sirkuit itu sendiri, daya resistor yang dihasilkan juga harus sesuai dengan kebutuhan agar rangkaian tidak terbakar.

Selanjutnya untuk mengetahui besar tahanan resistor dapat melalui gelang warna yang masing masing warnanya memiliki nilai. Di bawah ini adalah tabel warna pada resistor :

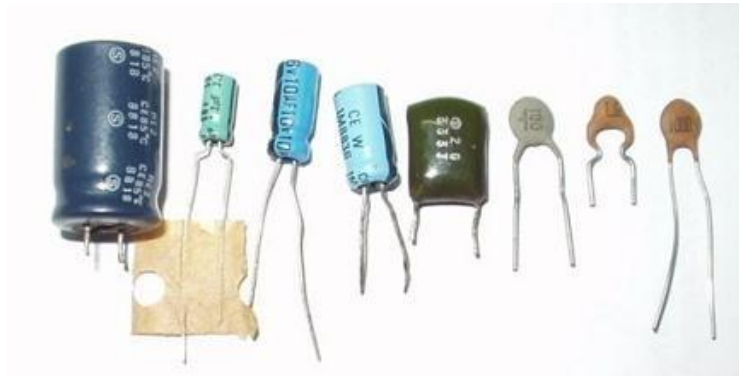


Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Multiplier Gelang 4	Toleransi Gelang 5
Hitam		0	0	1 Ohm	
Coklat	1	1	1	10 Ohm	$\pm 1 \%$
Merah	2	2	2	100 Ohm	$\pm 2 \%$
Orange	3	3	3	1 K Ohm	
Kuning	4	4	4	10 K Ohm	
Hijau	5	5	5	100 K Ohm	$\pm 0,5 \%$
Biru	6	6	6	1 M Ohm	$\pm 0,25 \%$
Ungu	7	7	7	10 M Ohm	$\pm 0,10 \%$
Abu-abu	8	8	8		$\pm 0,05 \%$
Putih	9	9	9		
Emas				0,1 Ohm	$\pm 5 \%$
Perak				0,01 Ohm	$\pm 10 \%$

Gambar 2.16 Penamaan Resistor

2.2.17 Kapasitor

Kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Umumnya kapasitor itu dibuat dengan dua buah lempeng logam yg bersejajar antara satu dengan lainnya, kemudian diantara dua logam tersebut ada bahan isolator yg disebut dengan dielektrik. Dielektrik adalah bahan yang dapat mempengaruhi nilai dari kapasitansi fungsi kapasitor. Adapun bahan dielektrik yang paling sering di gunakan adalah keramik, kertas, udara, metal film, gelas, vakum dan lain-lain sebagainya. Kapasitas untuk menyimpan kemampuan kapasitor dalam muatan listrik disebut Farad (F) yang diambil dari nama penemu Michael Faraday sedangkan simbol dari kapasitor adalah C (kapasitor).^[2]



Gambar 2.17 Macam-macam Kapasitor^[2]

2.2.18 Transistor

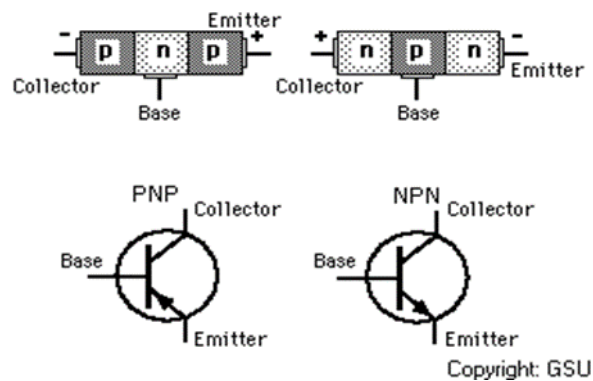
Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi. Transistor adalah komponen aktif dengan arus, tegangan, atau daya keluaran yang dikendalikan oleh arus masukan. Di dalam sistem komunikasi, transistor digunakan sebagai penguat sinyal. Di dalam untai elektronik komputer, transistor digunakan sebagai sakelar elektronik laju tinggi.^[13]



Gambar 2.18 Bentuk Fisik Transistor^[13]

Transistor merupakan komponen tiga terminal. Ketiga terminal tersebut disebut basis(B), kolektor(C), dan emiter(E). Jenis transistor ada dua, yaitu

transistor PNP dan transistor NPN. Berikut gambar simbol dari transistor jenis PNP dan NPN. Berikut gambar 2.19 menggambarkan tentang transistor PNP dan NPN.^[13]

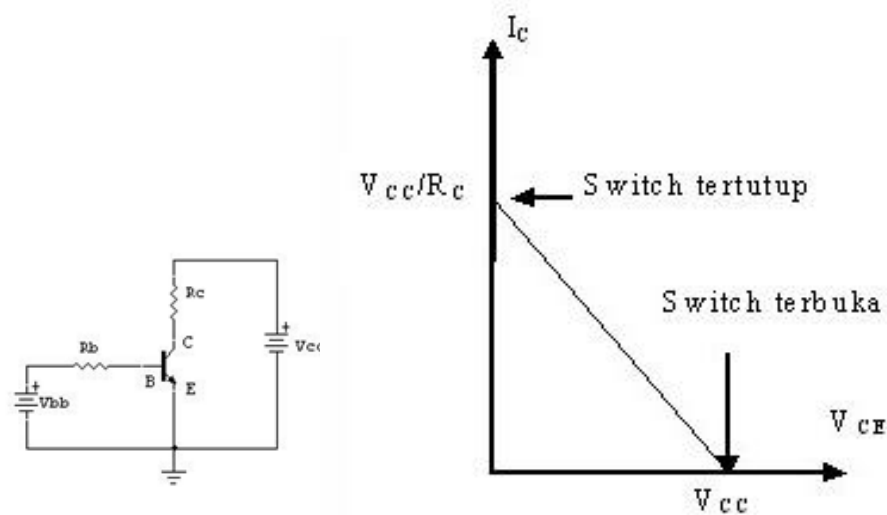


Gambar 2.19 Transistor PNP dan NPN^[13]

Prinsip kerja transistor adalah arus basis-emiter yang kecil mengatur besar arus kolektor-emiter. Bagian penting berikutnya adalah bagaimana cara memberi arus basis yang tepat sehingga transistor dapat bekerja secara optimal.

2.2.18.1 Transistor sebagai Saklar

Saat kondisi saturasi, transistor seperti sebuah saklar yang tertutup (on) sehingga arus mengalir dari kolektor ke emitter. Sedangkan saat kondisi cutoff, transistor seperti sebuah saklar yang terbuka(off) sehingga tidak ada arus yang mengalir dari kolektor ke emitter. Gambar 2.25 menggambarkan tentang rangkaian dan grafik transistor sebagai saklar.



Gambar 2.20 Rangkaian dan grafik transistor sebagai saklar^[13]

Dalam transistor kita akan mengenal beberapa istilah arus, yaitu : arus emiter (I_E), arus basis (I_B), dan arus kolektor (I_C). Karena emiter dalam transistor merupakan sumber elektron, maka emitter memiliki arus yang terbesar. Berdasarkan hukum arus kirchoff mengatakan” jumlah arus yang masuk ke satu titik atau sambungan sama dengan jumlah semua arus yang keluar dari titik atau sambungan itu”.

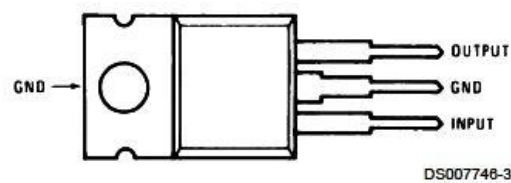
Berdasarkan hukum diatas dapat diperoleh :

$$I_E = I_B + I_C \dots\dots\dots(2.7)$$

2.2.19 IC Regulator

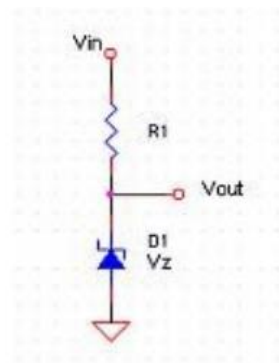
Regulator tegangan berfungsi sebagai filter tegangan agar sesuai dengan keinginan. IC regulator tegangan secara garis besar dapat dibagi menjadi dua, yakni *regulator* tegangan tetap (3 kaki) dan *regulator* tegangan yang dapat diatur (3 kaki dan banyak kaki). Kaki di sini menyatakan terminal IC. IC regulator tegangan tetap

(3 kaki) yang sekarang ini populer adalah seri 78 untuk tegangan positif dan seri 79 untuk tegangan negatif. *Regulator* seri 78 tersedia dalam beberapa variasi tegangan keluaran mulai dari 5 volt sampai 24 volt, seperti 7805, 7806, 7808, 7810, 7815, 7818, dan 7824. Besarnya tegangan keluaran IC seri 78 atau 79 ini dinyatakan dengan dua angka terakhir dari serinya. Contoh IC 7805 adalah *regulator* tegangan positif dengan tegangan keluaran 5 Volt. IC 7915 adalah *regulator* tegangan negative dengan tegangan -15 Volt.



Gambar 2.21 Susunan Kaki IC *Regulator*^[14]

Regulator tegangan ini menggunakan prinsip diode zener yang bekerja pada daerah *breakdown*. Sehingga menghasilkan tegangan output yang sama dengan tegangan zener atau $V_{out} = V_z$ seperti pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Prinsip Regulator Tegangan Menggunakan Dioda Zener^[14]

2.2.20 Catu Daya

Catu daya merupakan suatu rangkaian yang paling penting bagi sistem elektronika. Ada dua sumber catu daya yaitu sumber AC dan sumber DC. Sumber AC yaitu sumber tegangan bolak – balik, sedangkan sumber tegangan DC merupakan sumber tegangan searah. Rangkaian Penyearah Biasanya output dari rangkaian diberi suatu filter kapasitor untuk menghilangkan riak sehingga diperoleh tegangan DC yang stabil. Tegangan DC juga dapat diperoleh dari baterai. Dengan penggunaan baterai ditawarkan sumber tegangan DC yang stabil dan portable namun dapat habis tergantung kapasitas baterai tersebut. Tegangan yang tersedia dari suatu sumber tegangan yang ada biasanya tidak sesuai dengan kebutuhan. Untuk itu diperlukan suatu regulator tegangan yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan bernilai konstan pada nilai tertentu.^[2]

a. Rangkaian Penyearah

Peralatan kecil portabel kebanyakan menggunakan baterai sebagai sumber dayanya, namun sebagian besar peralatan menggunakan sumber daya AC 220 volt - 50Hz. Didalam peralatan tersebut terdapat rangkaian yang sering disebut sebagai adaptor atau penyearah yang mengubah sumber AC menjadi DC. Bagian terpenting dari adaptor adalah berfungsinya diode sebagai penyearah (*rectifier*). Pada bagian ini dipelajari bagaimana rangkaian dasar adaptor tersebut bekerja.

Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfigurasikan secara *forward* bias. Dalam sebuah

power supply tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator *stepdown*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu *power supply* yaitu, penyearah gelombang / *rectifier* (dioda), penurun tegangan (transformer), dan filter (kapasitor).

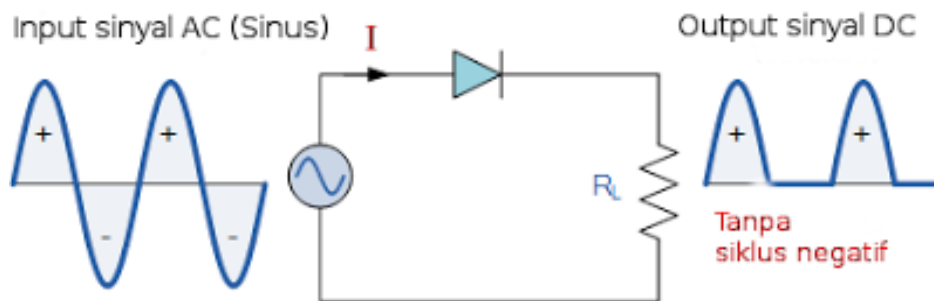
Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Namun selain dua konsep penyearah tersebut, terdapat pula rangkaian penyearah dengan filter untuk menyaring arus yang masuk pada rangkaian.

1. Penyearah Setengah Gelombang

Penyearah setengah gelombang (*half wave rectifier*) adalah sistem penyearah yang menggunakan satu blok dioda tunggal (bisa satu dioda atau banyak dioda yang diparalel) untuk mengubah tegangan dengan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan dengan arus searah (DC). sinyal. Prinsip kerja penyearah setengah gelombang memanfaatkan karakteristik dioda yang hanya bisa dilalui arus satu arah saja. Disebut penyearah setengah gelombang karena penyearah ini hanya melewatkan siklus positif dari sinyal AC.

Rangkaian penyearah setengah gelombang banyak dipakai pada *power supply* dengan frekuensi tinggi seperti pada *power supply* SMPS dan keluaran transformator *Flyback* Televisi. Sistem penyearah setengah gelombang kurang baik diaplikasikan pada frekuensi rendah seperti jala-jala listrik rumah tangga dengan frekuensi 50Hz karena membuang satu siklus sinyal AC dan mempunyai riak

(*ripple*) yang besar pada keluaran tegangan DC-nya sehingga membutuhkan kapasitor yang besar. Berikut gambar rangkaian penyearah setengah gelombang:



Gambar 2.23 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang^[2]

Penyearah setengah gelombang (*half wave rectifier*) hanya menggunakan 1 buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC dari transformator. Pada saat transformator memberikan *output* sisi positif dari gelombang AC maka dioda dalam keadaan forward bias sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi reverse bias, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan.

Perhitungan tegangan DC keluaran dari penyearah setengah gelombang mengacu pada kondisi saat fasa on dan *OFF* pada gelombang *output*. Pada saat fase positif, dioda menghantar sehingga tegangan keluaran saat itu sama dengan V_{max} dari sinyal *input*. Kemudian saat fase negatif, dioda tidak menghantar sehingga tegangan keluaran pada fase ini sama dengan nol.

Rangkaian penyearah setengah gelombang lebih sering digunakan sebagai rangkaian yang berfungsi untuk menurunkan daya pada suatu rangkaian elektronika sederhana dan digunakan juga sebagai demodulator pada radio penerima AM.

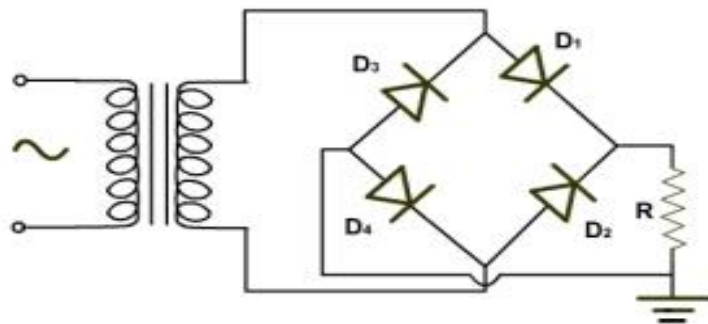
Penyearah setengah gelombang memiliki kelebihan dari segi rangkaian yang sangat simpel dan sederhana. Karena menggunakan satu dioda maka biaya yang dibutuhkan untuk rangkain lebih murah.

Kelemahan dari penyearah setengah gelombang adalah keluarannya memiliki riak (*rippe*) yang sangat besar sehingga tidak halus dan membutuhkan kapasitor besar pada aplikasi frekuensi rendah seperti listrik PLN 50Hz. Kelemahan ini tidak berlaku pada aplikasi *power supply* frekuensi tinggi seperti pada rangkaian SMPS yang mempunyai duty cycle diatas 90%.

Kelemahan penyearah setengah gelombang lainnnya adalah kurang efisien karena hanya mengambil satu siklus sinyal saja. Artinya siklus yang lain tidak diambil alias dibuang. Ini mengakibatkan keluaran dari penyearah setengah gelombang memiliki daya yang lebih kecil.

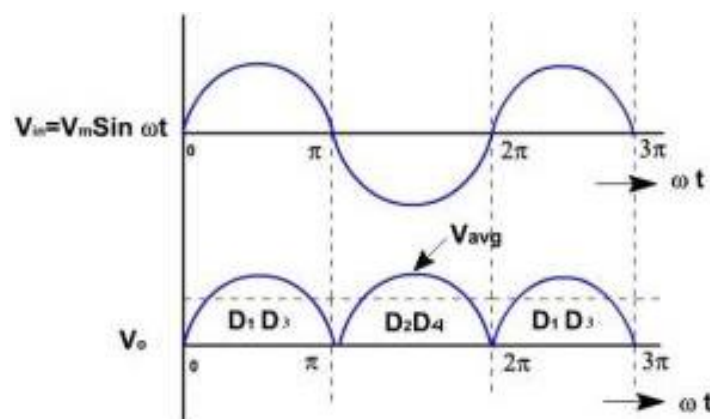
2. Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda

Penyearah Gelombang Penuh (Full wave *Rectifier*) Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.24 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda^[2]

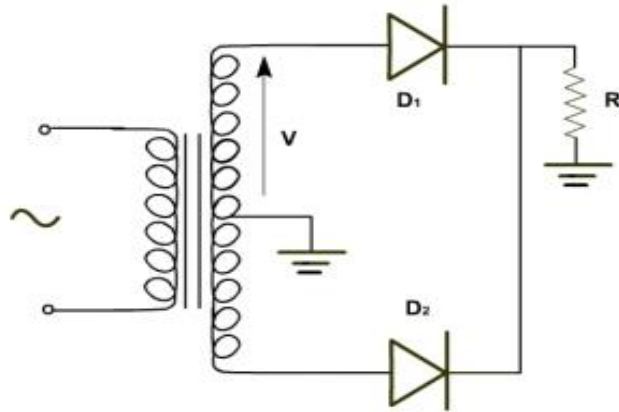
Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda diatas dimulai pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi forward bias dan D2, D3 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik *output* berikut.



Gambar 2.25 Grafik Output Penyearah Gelombang Penuh^[2]

3. Penyearah Gelombang Penuh dengan Trafo CT

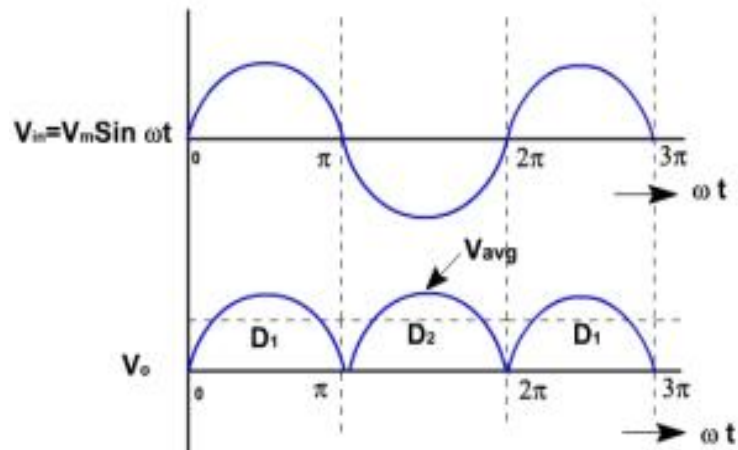
Penyearah gelombang dengan 2 dioda menggunakan tranformator dengan CT (*Center Tap*). Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.26 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda^[2]

Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda ini dapat bekerja karena menggunakan transformator dengan CT. Transformator dengan CT seperti pada gambar diatas dapat memberikan *output* tegangan AC pada kedua terminal *output* sekunder terhadap terminal CT dengan level tegangan yang berbeda fasa 180°. Pada saat terminal *output* transformator pada D₁ memberikan sinyal puncak positif maka terminal *output* pada D₂ memberikan sinyal puncak negatif, pada kondisi ini D₁ pada posisi forward dan D₂ pada posisi reverse. Sehingga sisi puncak positif dilewatkan melalui D₁. Kemudian pada saat terminal *output* transformator pada D₁ memberikan sinyal puncak negatif maka terminal *output* pada D₂ memberikan sinyal puncak positif, pada kondisi ini D₁ posisi reverse dan D₂ pada posisi forward. Sehingga sinyal puncak positif dilewatkan melalui D₂.

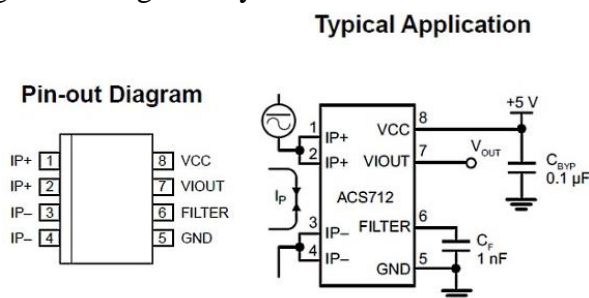
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar *output* penyearah gelombang penuh berikut.



Gambar 2.27 Output Penyearah Gelombang Penuh^[2]

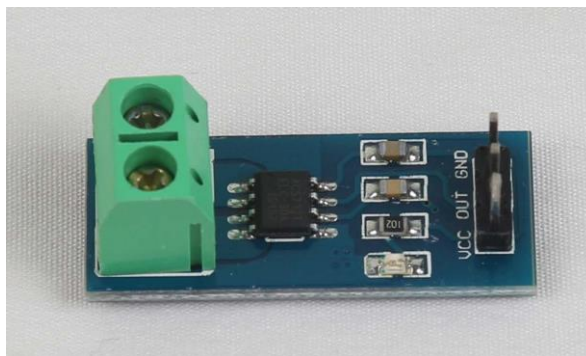
2.2.21 Sensor Arus ACS712

Sensor ini adalah sensor yang bekerja menggunakan prinsip *hall effect* atau sering disebut medan magnet, besar medan magnet tersebut dideteksi lalu diproses menjadi tegangan, tegangan yang dihasilkan sensor ini adalah tegangan DC. Layaknya amperemeter pada umumnya, sensor ini juga dipasang secara seri dengan beban. Setiap kenaikan 1 Ampere pada sensor ini akan dikeluarkan sebanyak 0.1 Ampere. Berikut gambar rangkaiannya :



Gambar 2.28 Konfigurasi PIN sensor arus ACS712^[16]

Aliran arus listrik phase pada beban dilewatkan ke kaki 1, 2 dan kaki 3, 4 tersambung langsung pada beban, arus yang melewati beban akan menciptakan medan magnet (*hall effect*). Besaran medan magnet itulah yang kemudian menginduksi bagian *dynamic offset cancellation* dan setelah itu sinyal tegangan akan dikuatkan dan disaring oleh amplifier dan filter pada ACS712 sebelum dikeluarkan melalui *v out* pada kaki 7.



Gambar 2.29 Bentuk Fisik Sensor Arus ACS^[16]

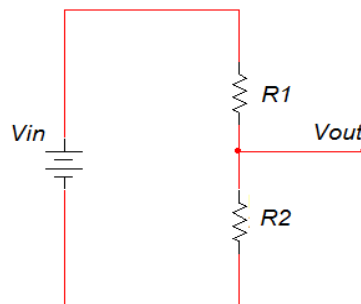
Spesifikasi ACS712:

- Rendah *noise* jalur sinyal analog
- *Bandwidth* Perangkat diatur melalui *FILTER* pin baru
- 5 mikrodetik *output* dalam menanggapi langkah masukan
- *Bandwidth* 80 kHz
- Total *output error* 1,5% pada $T_A = 25^\circ \text{C}$
- Kecil tapak, *low-profile* paket SOIC8
- 1,2 miliOhm resistansi konduktor internal
- Isolasi tegangan 2,1 kVRMS minimum dari *pin* 1-4 ke *pin* 5-8
- Operasi catu daya tunggal 5.0 V

- Sensitivitas keluaran 66-185 mV / A
- Tegangan *output* sebanding dengan arus AC atau DC
- Keluaran tegangan *offset* sangat stabil
- Hampir nol *hysteresis magnetic*
- Keluaran *ratiometric* dari tegangan suplai

2.2.22 Sensor Tegangan

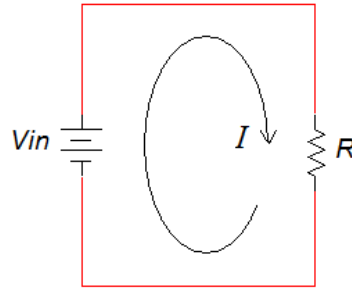
Sensor tegangan menggunakan prinsip Pembagi tegangan (*Voltage Divider*) secara sederhana yang dibentuk oleh rangkaian seri dari dua buah hambatan, dengan sebuah suplai tegangan. Diantara kedua hambatan tersebut, diambil sebuah jalur yang akan digunakan sesuai keperluan kita, misalnya sebagai inputan ke mikrokontroler. [15]



Gambar 2.30 Rangkaian Dasar Pembagi Tegangan^[15]

Persamaan Matematis

Asumsi terdapat arus tunggal yang mengalir pada rangkaian tersebut ($I_1 = I_2 = I$), dan dua buah resistor (R_1 dan R_2) yang terhubung secara seri kita jadikan sebagai sebuah hambatan pengganti. Maka rangkaianannya dapat disederhanakan seperti pada Gambar 2.31



Gambar 2.31 Rangkaian Penyederhanaan^[15]

Seperti yang telah kita ketahui bahwa $R = R_1 + R_2$, maka arus yang mengalir pada rangkaian adalah:

$$I = \frac{V_{in}}{R} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (2.8)$$

Karena I ekuivalen dengan I_2 , maka V_{out} dapat dicari sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} R_2 \quad (2.9)$$

Dengan mengubah susunan persamaan di atas, maka rumus pembagi tegangan yang harus diingat dan dipahami adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.10)$$

Dalam penerapannya, hanya dengan mengatur-atur besar R_1 dan R_2 , kita dapat memperoleh variasi tegangan output V_{out} .

2.2.23 Lampu

Lampu yang digunakan adalah lampu mobil 1 kaki. Lampu mobil 1 kaki ini memiliki karakteristik masukan sumber tenaganya adalah sumber DC dengan

besarnya adalah 12 Volt. Lampu ini biasanya di pasang di mobil, baik itu untuk lampu sein, lampu utama, maupun lampu indikator pengereman.

Di alat ini, kita menggunakan 8 buah lampu mobil 1 kaki. Lampu ini kita gunakan sebagai beban dari transformator tenaga. Lampu tersebut, dianalogikan sebagai beban dari transformator, sehingga 1 lampu kita ibaratkan merupakan 1 beban dalam 1 daerah dari transformator yang sebenarnya



Gambar 2.32 Lampu 12 VDC

2.2.24 Fitting Lampu

Fitting atauudukan lampu adalah suatu alat untuk menghubungkan lampu dengan kawat-kawat jaringan listrik secara aman. Berdasarkan pemakaiannya bentuk *fitting* terdapat beberapa macam, yaitu *fitting* tempel (*fitting* duduk), *fitting* gantung, *fitting* bayonet, gabungan antara *fitting* dengan stop kontak dan lain-lain.



Gambar 2.33 *Fitting Lampu*

2.2.25 Ethernet Shield

Ethernet Shield pada alat ini digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler Arduino dengan jaringan komputer. Dalam sistem rancangan ini, agar Arduino dapat dikontrol melalui *software* VTScada maka Arduino dijadikan *Open* Modbus TCP/IP terlebih dahulu. Untuk menjadikan Arduino sebagai *Open* Modbus TCP/IP maka diperlukan Ethernet Shield. Kemudian Ethernet Shield dihubungkan melalui jaringan LAN (*Local Area Network*).^[15]

Dalam alat penggunaan Arduino yang terhubung dengan Ethernet Shield *pin* 50, 51, 52, 10, dan 4 tidak terhubung dengan rangkaian elektronik lain. Hal ini disebabkan oleh *pin* 50, 51, dan 52 digunakan untuk komunikasi *bus* SPI. *Pin* digital 10 digunakan untuk memilih *W5100* dan *pin* digital 4 digunakan untuk memilih *SD card*. Untuk membuat *Open* Modbus TCP/IP diperlukan beberapa pengaturan dasar yaitu memberi alamat MAC (*Media Access Control*) dan alamat IP (*Internet Protocol*) dan diperlukan IP *gateway* jaringan dan *subnet mask*.

2.2.26 Human Machine Interface

Human Machine Interface (HMI) merupakan media komunikasi antara manusia dengan mesin dalam suatu sistem. HMI membantu operator secara lebih

dekat untuk mengontrol suatu *plan* sistem dan operasi PLC pada setiap tahap pengoperasian *plan* sebagai proses visualisasi sistem yang menghubungkan semua komponen dalam sistem dengan baik. Dengan menggunakan HMI sebagai *console* operator. Operator bias menyajikan berbagai macam analisa grafis *hystorical information*, *database*, data *login* untuk keamanan, dan animasi ke dalam bentuk *software*.^[15]



Gambar 2.34 *Human Machine Interface*^[15]

HMI dapat digunakan untuk mengatur berbagai macam peralatan. HMI dapat digunakan dalam aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kemudahan dalam pemantauan sekaligus juga pengontrolan, dengan berbagai macam media *interface* dan komunikasi yang tersedia saat ini. Berikut ini beberapa hal yang bisa dilakukan dengan sistem HMI:

- a) Memberikan informasi *plant* yang *up-to-date* kepada operator melalui *graphical user interface*.
- b) Menerjemahkan instruksi operator ke mesin.
- c) Memonitor keadaan yang ada di *plant*.
- d) Mengatur nilai pada parameter yang ada di *plant*.
- e) Mengambil tindakan yang sesuai dengan keadaan yang terjadi.

- f) Memunculkan tanda peringatan dengan menggunakan alarm jika terjadi sesuatu yang tidak normal.
- g) Menampilkan pola data kejadian yang ada di *plant* baik secara *real time* maupun *historical* (*Trending history* atau *real time*).

2.2.27 LAN (*Local Area Network*)

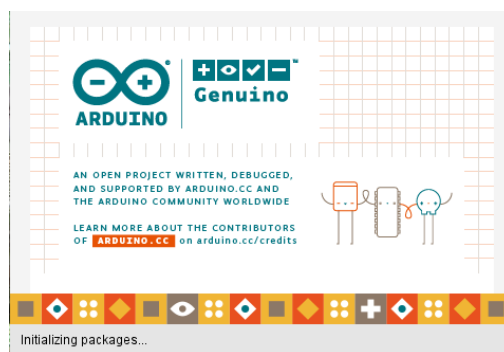
Pada rancangan ini, LAN digunakan sebagai media komunikasi antara Arduino dengan PC (*Personal Computer*). Untuk pengiriman data dari Arduino Mega ke PC (*Personal Computer*) dan PC (*Personal Computer*) memberi instruksi ke Arduino Mega diperlukan protokol *Open Modbus TCP/IP*. Dalam pembuatan *Open Modbus TCP/IP* membutuhkan beberapa pengaturan dasar yaitu memberi alamat MAC (*Media Access Control*) dan alamat IP (*Internet Protocol*) dan diperlukan IP *gateway* jaringan dan *subnet mask*.^[15]

2.2.28 Arduino IDE

IDE itu merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment*, atau secara bahasa mudahnya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai lingkungan karena melalui software inilah Arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman. Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C. Bahasa pemrograman Arduino (*Sketch*) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Sebelum dijual ke pasaran, IC mikrokontroler Arduino telah ditanamkan suatu program

bernama *Bootlader* yang berfungsi sebagai penengah antara *compiler* Arduino dengan mikrokontroler. ^[13]

Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari software Processing yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino.



Gambar 2.35 Arduino Ide

2.2.29 VTScada

VTScada memberi platform intuitif untuk menciptakan aplikasi pemantauan dan kontrol industri yang sangat disesuaikan yang dapat dipercaya dan digunakan pengguna dengan mudah. Berbagai macam industri di seluruh dunia menggunakan VTScada untuk aplikasi-aplikasi penting setiap ukuran. Dengan adanya VTScada ini sangat membantu untuk menampilkan arus dan tegangan di layar HMI dengan demikian dapat diketahui besaran arus dan tegangan melalui VTScada. Dan ada juga fitur yang ditawarkan oleh VTScada yaitu bisa melakukan remote dengan menggunakan HMI sehingga cukup menekan tombol yang ada pada layar HMI maka dapat membuka atau menutup relay. ^[15]

VTScada merupakan software SCADA yang diproduksi oleh Trihedral Engineering yang memiliki awalnya bernama WEB. WEB sistem operasi yang berbasis HMI memiliki bahasa scripting untuk tags, page, dan yang berhubungan dengan SCADA dibuat melalui penyusunan kode. Kemudian pada tahun 1995, WEB berganti nama menjadi VTS (*Visual Tag System*) karena program tersebut mengalami perkembangan dalam hal GUI (*Graphic User Interface*) yang membuat lebih mudah dalam penggunaan aplikasi SCADA. Pada tahun 2001, nama VTScada ditambahkan untuk aplikasi SCADA dalam hal pengolahan air dan limbah. VTScada didesain secara detail dalam komunikasi sistem telemetry, dan juga mengalami penambahan fitur yang lebih bermanfaat.

Pada awal tahun 2014, Trihedral Engineering mengeluarkan versi 11, dan produk VTS dan VTScada digabung menjadi satu produk yang sekarang dikenal dengan nama VTScada. Untuk menginstal software VTScada diperlukan *hardware PC (Personal Computer)* yang memiliki spesifikasi berikut : VTScada 11.2 digunakan sebagai server dari workstation :

1. 32 atau 64-bit sistem operasi Windows
2. 2 Ghz prosesor dual-core
3. Membutuhkan penyimpanan file 20 GB
4. Memiliki RAM 8 GB atau lebih

Sedangkan untuk laptop, tablet PC, dan panel PC bukan sebagai server dari workstation:

1. 32 atau 64-bit sistem operasi Windows
2. 2 Ghz prosesor dual-core

3. Membutuhkan penyimpanan file 20 GB
4. Memiliki RAM 4 GB atau lebih



Gambar 2.36 VTScada Light